

ATTORNEY DOCKET NO.: 71213

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : GMEINER
Serial No :
Confirm No :
Filed :
For : METHOD AND DEVICE...
Art Unit :
Examiner :
Dated : November 24, 2003

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

PRIORITY DOCUMENT

In connection with the above-identified patent application, Applicant herewith submits a certified copy of the corresponding basic application filed in

Germany

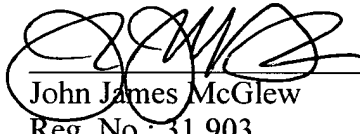
Number: DE 102 55 037.9

Filed: 26/Nov./2002

the right of priority of which is claimed.

Respectfully submitted
for Applicant(s),

By:



John James McGlew
Reg. No.: 31,903
McGLEW AND TUTTLE, P.C.

JJM:tf

Enclosure: - Priority Document

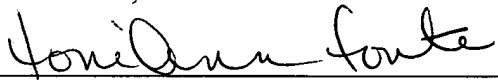
71213.3

DATED: November 24, 2003
SCARBOROUGH STATION
SCARBOROUGH, NEW YORK 10510-0827
(914) 941-5600

NOTE: IF THERE IS ANY FEE DUE AT THIS TIME, PLEASE CHARGE IT TO OUR
DEPOSIT ACCOUNT NO. 13-0410 AND ADVISE.

I HEREBY CERTIFY THAT THIS CORRESPONDENCE IS BEING DEPOSITED WITH
THE UNITED STATES POSTAL SERVICE AS EXPRESS MAIL, REGISTRATION NO.
EV323629883US IN AN ENVELOPE ADDRESSED TO: COMMISSIONER FOR
PATENTS, P.O. BOX 1450, ALEXANDRIA, VA 22313-1450, ON November 24, 2003

McGLEW AND TUTTLE, P.C., SCARBOROUGH STATION,
SCARBOROUGH, NEW YORK 10510-0827

By:  Date: November 24, 2003



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 55 037.9

Anmeldetag: 26. November 2002

Anmelder/Inhaber: KUKA Roboter GmbH, Augsburg/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zum Bearbeiten
eines Werkstücks

IPC: G 05 B, B 25 J

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Faust

PATENTANWÄLTE
DIPL.-ING. **HEINER LICHTI**

DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. **JOST LEMPERT**

DIPL.-ING. **HARTMUT LASCH**

D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)
POSTFACH 410760

TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

19765.9 Le/nu/ma
25. November 2002

Verfahren und Vorrichtung zum Bearbeiten eines Werkstücks

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten von Werkstücken mittels eines mehrachsigen Handhabungsgeräts, wie eines Industrieroboters, mit einem nach Maßgabe durch
5 eine Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts bewegten Werkzeug, das Eigenbewegungen mit mehreren Freiheitsgraden ausführen kann. Die Erfindung betrifft weiterhin eine zur Durchführung des vorstehend genannten Verfahrens geeignete Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken, aufweisend ein
10 mehrachsiges Handhabungsgerät mit einer Steuerungseinheit zur Bewegungssteuerung und ein Werkzeug, das zum Ausführen von Eigenbewegungen eine Mehrzahl von Freiheitsgraden aufweist.

15 Beim Einsatz von Handhabungsgeräten, wie Industrierobotern, zur Bearbeitung von Werkstücken kommen auch Werkzeuge zum Einsatz, die in der Lage sind, Eigenbewegungen mit einer Anzahl von Freiheitsgraden prinzipiell unabhängig von einer Bewegung des Handhabungsgeräts auszuführen. Dies trifft
20 beispielsweise auf Industrieroboter zu, die am distalen En-

de ihres Roboterarms einen Laser und eine steuerbare Fokussieroptik zur Laserbearbeitung von Werkstücken tragen. In diesem Fall kann es sich bei dem eingangs genannten Werkzeug beispielsweise um ein Laserschneidwerkzeug, ein Laserschweißwerkzeug oder ein Laserprägwerkzeug handeln, das mit beweglichen Spiegelanordnungen ausgestattet ist, um so eine aktive Arbeitsbewegung des Laserstrahls zu ermöglichen, was der eingangs genannten Eigenbewegung des Werkzeugs gleichkommt.

10

Die beweglichen Spiegelanordnungen derartiger Laserschneidwerkzeuge werden auch als Scannereinheiten oder Galvoeinheiten bezeichnet.

15

Es ist bei Verfahren bzw. Vorrichtungen der eingangs genannten Art bekannt, Handhabungsgeräte zur Grobpositionierung des Werkzeugs in der Nähe eines zu bearbeitenden Werkstücks einzusetzen, während anschließend das Werkzeug selbst (beim genannten Beispiel also die Spiegel und dadurch bedingt der Laserstrahl) kleinskalige Konturen einer vorbestimmten Bearbeitungsbahn abfahren. Zur Bearbeitung größerskaliger Konturen muss der Bearbeitungsvorgang unterbrochen und das Handhabungsgerät neu positioniert werden.

20

Anschließend übernimmt das an dem Handhabungsgerät angeordnete Werkzeug wieder die kleinskalige Bearbeitung des Werkstücks. Eine solche Arbeitsweise bedingt zeitaufwendige Stop-and-Go-Verfahren, bei denen zeitweise das Handhabungsgerät, zeitweise das Werkzeug stillsteht. Ebenso ergeben sich unnötig große Umorientierungen des (relativ) langsamen Handhabungsgerät.

25

30

Die vorbekannten Verfahren und Vorrichtungen zum Bearbeiten von Werkstücken weisen noch eine Reihe weiterer Nachteile auf. So lässt sich in der Regel keine konstante Bearbeitungsgeschwindigkeit auf beliebigen Bearbeitungsgeometrien

35

erreichen, da Bewegungen des Handhabungsgeräts aufgrund dessen größerer Masse und Trägheit immer mit geringerer Geschwindigkeit erfolgen als die kleinskaligen Bewegungen des Werkzeugs, insbesondere in Kurven und Abbiegungen von Konturen. Eine konstante Bearbeitungsgeschwindigkeit stellt jedoch bei Laserverfahren eine Grundvoraussetzung für qualitativ hochwertige Bearbeitung dar.

Aufgrund der Tatsache, dass das Handhabungsgerät und das Werkzeug nach dem Stand der Technik steuerungstechnisch unabhängig voneinander geführt werden, ist außerdem der einer Bearbeitung vorangehende Teaching-Prozess nicht einfach zu handhaben und damit fehleranfällig, da hierzu ggf. zwei Steuerungen unprogrammiert werden müssen. Zudem sind derartige vorbekannte Verfahren und Vorrichtungen nicht online- bzw. echtzeitfähig, da keine Bahnen beliebig geändert werden können, ohne dabei auch die jeweils andere Steuerung mit umprogrammieren zu müssen. Aus dem selben Grund ist außerdem eine Offline-Programmierung nur begrenzt möglich.

Andere vorbekannte Verfahren bzw. Vorrichtungen beschränken sich auf die phasenweise Berücksichtigung einer gleichförmig-geradlinigen Bewegung des Handhabungsgeräts, z.B. eines Fließbands oder eines Portalschweißgeräts, und überlagern dieser Eigenbewegungen des Werkzeugs. Derartige Verfahren und Vorrichtungen stoßen an ihre Grenzen bei der Bearbeitung komplex, beliebig geformter Flächen und Konturen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, unter Vermeidung der vorstehend genannten Nachteile ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art hinsichtlich einer optimalen Bewegung des Handhabungsgeräts und des Werkzeugs bei der Bearbeitung von beliebig geformten Werkstücken zu verbessern, wobei sich die zu schaffende Weiterentwicklung einer Vorrichtung der eingangs genannten Art weiterhin

durch eine Echtzeit-Anpassbarkeit sowie eine vereinfachte Handhabung, insbesondere bei der Einrichtung von Bearbeitungsvorgängen, auszeichnen soll.

- 5 Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die Freiheitsgrade des Werkzeugs gemeinsam mit Freiheitsgraden von Achsen des Handhabungsgeräts in Echtzeit zum Bewegen einer Werkzeugspitze (TCP) gemäß einer vorbestimmten Bearbeitungsgeometrie und
10 zur Bestimmung einer Bewegung des Handhabungsgeräts ausgewertet werden.

- Erfindungsgemäß kann es sich bei der vorstehend genannten Bearbeitungsgeometrie um eine einfache zusammenhängende
15 Geometrie, d.h. eine Bearbeitungsbahn, handeln. Möglich ist jedoch auch eine Bearbeitung auf einer nur stückweise kontinuierlichen Geometrie, d.h. mit einer sog. Sprungfunktion oder auf einer Mischung beider Geometrien.

- 20 Erfindungsgemäß lässt sich so insbesondere bei einer Laserbearbeitung von Werkstücken mit Hilfe eines Scanners die gegebene, wesentlich schnellere Positionierbarkeit des Laserstrahls gegenüber herkömmlichen Laserschweißverfahren dahingehend einsetzen, dass kürzere und bauteiloptimierte
25 Bewegungsbahnen des Handhabungsgeräts möglich werden. In diesem Zusammenhang ergibt sich vor allem bei Vermeidung einer Umorientierung von Achsen des Handhabungsgeräts ein enormer Geschwindigkeitsvorteil. Aufgrund der Echtzeit-Integration der Werkzeugbewegung führen unterschiedliche
30 Bewegungsbahnen des Handhabungsgeräts zu gleichen Bearbeitungsbahnen auf dem Werkstück, so dass sich das erfindungsgemäße Verfahren gegenüber dem Stand der Technik durch eine wesentliche höhere Flexibilität im Einsatz auszeichnet. Darüber hinaus bedingt die kombinierte Auswertung von Bewe-
35 gungen des Handhabungsgerätes und des Werkzeugs vereinfach-

te Teach- und Bedienvorgänge. Vorzugsweise wird die Auswertung durch die Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts vorgenommen.

- 5 Bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art ist zur Lösung der Aufgabe vorgesehen, dass das Werkzeug und eine Werkzeugspitze (TCP) bei der Bearbeitung des Werkstücks in ihren Bewegungen nach Maßgabe durch die Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts steuerbar sind. Somit ist eine Berücksichtigung der Werkzeugposition bereits bei der Bahnplanung für das Handhabungsgerät möglich, so dass die Offline-Programmierbarkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung erreicht ist.
- 10
- 15 Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass für eine Bewegungssteuerung der Werkzeugspitze zumindest Koordinaten einer vorbestimmten Bearbeitungsgeometrie in eine Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts eingelesen werden, beispielsweise durch sogenanntes Teach-in.
- 20 Eine solche Bearbeitungsgeometrie lässt sich auch offline mittels einer Teach-Einrichtung in einfacher Weise vorgeben.

- 25 Nach einer bevorzugten Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass anschließend die Bearbeitungsgeometrie zu einer Abfolge von diskreten Koordinatenwerten mit einem gleichen zeitlichen Abstand (Taktzeit) zwischen aufeinanderfolgenden Werten diskretisiert wird. Die Taktzeit, der sogenannte IPO-Takt (Interpolationstakt),
- 30 ist dabei je nach den in der Steuerungseinheit eingesetzten elektronischen Komponenten in einem weiten Bereich frei wählbar, beispielsweise zwischen 100 μ s und 12 ms.

In bevorzugter Weise ist vorgesehen, dass die Koordinatenwerte der Bearbeitungsgeometrie vor der Bearbeitung in einer mit der Steuereinheit assoziierten Speichereinheit gespeichert werden. Vorzugsweise werden also die Koordinatenwerte der Bearbeitungsgeometrie jeweils zu den durch den IPO-Takt bestimmten Zeitpunkten in eine Datenbank geschrieben. Diese enthält demnach beispielsweise die Zeitinformation des IPO-Taktes sowie ein in jeder Taktzeit zugeordneten Positions-Sollwert für die vorgegebene Bearbeitungsgeometrie in geeigneten Koordinaten, z.B. kartesischen Koordinaten. Die in der Speichereinheit gespeicherten Werte sind zur Bewegungssteuerung des Handhabungsgeräts und/oder des Werkzeugs durch Interpolation abrufbar.

15 Nach einer äußerst bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass den Koordinaten der Bearbeitungsgeometrie Abweichungswerte in Form von Korrekturwerten zugeordnet werden, die maximalen Amplituden der Eigenbewegungen des Werkzeugs in dessen Freiheitsgraden entsprechen. Auf diese Weise wird um die Bearbeitungsgeometrie eine Art "Bewegungsschlauch" definiert, der dem Bereich auf dem Werkstück entspricht, der ausgehend von einer eingenommenen Position auf der Bearbeitungsgeometrie aufgrund einer Eigenbewegung des Werkzeugs von diesem erreicht und bearbeitet werden kann. Seitens des erfindungsgemäßen Verfahrens ist weiterhin vorzugsweise vorgesehen, dass eine Bewegungsbahn des Handhabungsgeräts durch die Steuereinheit dadurch bestimmt wird, dass eine momentane Koordinatendifferenz zwischen der Bearbeitungsgeometrie und einer Position der Werkzeugspitze nicht größer als die maximalen Amplitude der entsprechenden Eigenbewegung des Werkzeugs ist. Demnach kann die eigentliche Bewegungsbahn des Handhabungsgeräts derart gewählt werden, dass sie mehr oder weniger beliebig innerhalb des oben definierten Bewegungsschlauches verläuft, so dass die Bewegungsbahn möglichst

kurz bzw. bauteilgerecht ausgebildet werden kann. Die Bewegungsbahn kann als vorbestimmte Bewegungsbahn des Handhabungsgeräts vor der Bearbeitung in der mit der Steuerungseinheit assoziierten Speichereinheit gespeichert werden.

5 Erfindungsgemäß ist eine derartige vorgegebene Bewegungsbahn jedoch nicht fest vorgeben, sondern kann im Verlauf der Bearbeitung in Abstimmung mit Eigenbewegungen des Werkzeugs in Echtzeit, d.h. "fliegend" abgeändert werden.

10 Nach einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass einzelne Koordinaten der Bewegungsbahn des Handhabungsgeräts und davon abhängig eine Position und Orientierung (Pose) des Werkzeugs zu den Takten der Koordinatenwerte der Bearbeitungsgeometrie bestimmt werden. Auf
15 diese Weise ergeben sich durch die Differenz der im (IPO-)Takt vorgegebenen (gespeicherten) Koordinatenwerte der Bearbeitungsbahn und der im selben (IPO-)Takt bestimmten Bewegungsbahn des Handhabungsgeräts die entsprechenden Bewegungs-Sollwerte für die Freiheitsgrade des Werkzeugs,
20 beispielsweise für die Spiegelbewegungen eines Scannersystems. Diese werden erfindungsgemäß in Echtzeit an das Scannersystem weitergegeben.

Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann weiterhin
25 vorgesehen sein, dass die Bewegungen des Handhabungsgeräts und des Werkzeugs zwischen den Takten durch Interpolation bestimmt werden. Die somit grundsätzlich im IPO-Takt bestimmten Koordinatenwerte können mit Hilfe geeignet eingerichteter Berechnungsmittel in ihrer Bestimmungsfrequenz an
30 eine gegebene Konfiguration der Bewegungsbahn bzw. Bearbeitungsgeometrie angepasst werden. Vorzugsweise sieht das erfindungsgemäße Verfahren hierzu vor, dass die Taktzeit zumindest zeitweise an wenigstens einem Parameter der Bewegungen angepasst wird. Bei diesem Parameter kann es sich
35 beispielsweise um eine Bahnkrümmung im Raum handeln, so

dass im Zuge einer geradlinigen Bewegung entsprechend weniger Koordinatenwerte bestimmt werden, da eine Bahnplanung durch Extrapolation erfolgen kann.

- 5 Nach einer äußerst bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Bewegung der Werkzeugspitze mit im wesentlichen konstanter Geschwindigkeit erfolgt, so dass eine entscheidende Voraussetzung für den Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens im Zuge
10 einer hochqualitativen Werkstückbearbeitung, beispielsweise durch Lasereinwirkung, gewährleistet ist.

- Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass entweder das Werkstück oder das Werkzeug während
15 der Bearbeitung mit dem Handhabungsgerät verbunden und durch dieses bewegbar ist. Somit ist es beim Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich, ein zu bearbeitendes Werkstück mittels eines geeignet ausgebildeten Handhabungsgeräts, wie eines Sechssachs-Industrieroboters aufzunehmen
20 und einem separat angeordneten und fixierten Werkzeug zur Bearbeitung zuzuführen, das mit dem Handhabungsgerät nur steuerungstechnisch verbunden ist (externe TCP-Technik). Es kann jedoch auch verfahrensökonomischer sein, das Werkzeug direkt am Handhabungsgerät anzubringen und gemeinsam mit
25 diesem über das Werkstück zu bewegen.

- Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, dass diese eine mit der Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts assoziierte Speichereinheit zum Speichern zumindest einer diskretisierten Abfolge
30 von Koordinatentwerten für eine Bearbeitungsgeometrie auf dem Werkstück aufweist, z.B. einen (flüchtigen) Arbeitsspeicher oder einen Permanentenspeicher. Zur Weiterverarbeitung einer derartig (auch offline) vorgebbaren Koordinatenabfolge ist vorzugsweise vorgesehen, dass die erfindungsge-
35

mäße Vorrichtung eine Bestimmungseinheit zum Bestimmen von Amplituden der Eigenbewegungen des Werkzeugs entsprechenden Abweichungen für die Koordinatenwerte der Bearbeitungsgeometrie aufweist.

5

Weiterhin weist die erfindungsgemäße Vorrichtung vorzugsweise Bestimmungsmittel zum dynamischen Bestimmen einer relativen Pose zwischen Werkzeugspitze und einer Summe aus den Koordinatenwerten der Bearbeitungsgeometrie und den zugehörigen Abweichungen auf.

10

Erfindungsgemäß erfolgt die Bewegung der Werkzeugspitze innerhalb des durch die Summe aus den Koordinatenwerten der Bearbeitungsgeometrie und den zugehörigen Abweichungen bestimmten Raumbereichs (Bewegungsschlauch). In diesem Zusammen-

15

hang weist die erfindungsgemäße Vorrichtung nach einer äußerst bevorzugten Weiterbildung programmtechnisch eingerichtete Prozessormittel zum zeitlichen und/oder räumlichen Optimieren einer momentanen Bewegung des Handhabungsgeräts

20

unter Ausnutzung der Freiheitsgrade des Werkzeugs auf, da sich die Bewegungen des Werkzeugs aufgrund der dort vorhandenen geringere Masse bzw. der geringeren erforderlichen Bewegungsamplituden in der Regel schneller durchführen lassen,

25

als entsprechende gleichwirkende Bewegungen des Handhabungsgeräts. Es ist damit nicht länger erforderlich, das Handhabungsgerät zu jeder Zeit im wesentlichen auf der geforderten Bearbeitungsgeometrie zu bewegen, vielmehr kann das Bearbeitungsgerät der Bearbeitungsgeometrie vor- oder nacheilen, wodurch sich die Positionierzeiten des Handhabungsgeräts stark reduzieren lassen, was sich positiv auf die Gesamtbearbeitungszeit auswirkt.

30

Dabei führt das Vor- bzw. Nacheilen des Werkzeugs, beispielsweise der Galvospiegel, vor allem bei Kurven der Bearbeitungsgeometrie zu erheblichen Vorteilen, da auf diese

35

Weise auch enge Bewegungsradien ohne Geschwindigkeitseinbrüche durchfahren werden können.

Weitere Eigenschaften und Vorteile ergeben sich aus den
5 beigefügten Zeichnungen, in denen einige Ausführungsformen der Erfindung exemplarisch dargestellt sind. Es zeigt:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen
10 Vorrichtung in Form eines Sechssachs-Industrieroboters mit einem am distalen Ende des Roboterarms angeordneten Laser-Bearbeitungswerkzeug;

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Ablenkung eines
15 zur Werkstückbearbeitung eingesetzten Laserstrahls durch die Optik des Scannersystems;

Fig. 3 eine zusammenhängende Bearbeitungsgeometrie
(Bearbeitungsbahn) für ein Werkstück mit überlag-
20 gerter Bahnbewegung des Handhabungsgeräts;

Fig. 4 die Bearbeitungsbahn gemäß Fig. 3 mit einer ande-
ren überlagerten Bahnbewegung des Handhabungsge-
räts;

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer stückweise
25 zusammenhängenden Bearbeitungsgeometrie (Sprungfunktion) mit einer zugehörigen Bahnbewegung des Handhabungsgeräts; und

Fig. 6 ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfah-
30 rens zur Bearbeitung von Werkstücken.

Die Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 mit
einem Handhabungsgerät 2 in Form eines Sechssachs-Industrie-
35 robots, an dessen Arm 2.1 am distalen Ende 2.2 ein Werk-

zeug 3 zum Bearbeiten eines Werkstücks 4 angeordnet ist. Der Roboter 2 ist für Bewegungen im Raum mit bis zu sechs Freiheitsgraden F_1 bis F_6 ausgebildet.

- 5 Bei dem Werkzeug 3 handelt es sich beim Ausführungsbeispiel der Fig. 1 um ein Laser-Bearbeitungswerkzeug mit einem integrierten Scannersystem, das weiter unten anhand der Fig. 2 näher dargestellt ist. Die Bearbeitung des Werkstücks 4 erfolgt, wie in Fig. 1 schematisch dargestellt, durch einen
 10 Laserstrahl 5, der vom Werkzeug 3 ausgesandt wird bzw. selbst Teil des Werkzeugs ist und auf das Werkstück 4 einwirkt.

- Zur Bewegungssteuerung weist die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 eine Steuerungseinheit 2.3 auf, deren Steuersignale
 15 über ein Übertragungsmedium 2.8, wie Feldbus, Echtzeit-Ethernet oder Firewire an das Werkzeug 3 und/oder den Roboter 2 übertragen werden.

- 20 Die Steuerungseinheit 2.3 umfasst weitere Funktionseinheiten, namentlich eine Speichereinheit 2.4, beispielsweise ein Arbeits- oder Permanentspeicher, eine Bestimmungseinheit 2.5, weitere Bestimmungsmittel 2.6 sowie Prozessormittel 2.7, die weiter unten bei einer Beschreibung der Fig. 3
 25 näher erläutert werden.

- Bei vorbekannten Vorrichtungen dieser Art ist es üblich, das Werkzeug 3 durch Bewegen des Roboters 2 zumindest grob in der Nähe der zu bearbeitenden Fläche des Werkstücks 4 zu
 30 positionieren, um anschließend die zur Bearbeitung des Werkstücks 4 noch erforderlichen (Rest-)Bewegungen durch Eigenbewegungen des Werkzeugs 3 und entsprechende Bewegungen des Laserstrahls 5 auszuführen. Eine Bewegungssteuerung des Roboters 2 und des Werkzeugs 3 erfolgt praktisch unab-

hängig voneinander, was einen Großteil der eingangs erwähnten Nachteile mit sich bringt.

Die Fig. 2 zeigt schematisch den inneren Aufbau des Werkzeugs 3 der Fig. 1. Es weist zum Ablenken des Laserstrahls 5 ein Scannersystem 3.1 bestehend aus Spiegeln 3.2, 3.3 und zugeordneten Antrieben 3.4, 3.5 auf. Den Spiegeln im Strahlengang nachgeschaltet ist eine Fokussieroptik 3.6. Ferner beinhaltet das Werkzeug 3 eine Steuerungseinheit 3.7, die über das Übertragungsmedium 2.8 Signale der Steuerungseinheit 2.3 (Fig. 1) zum Steuern der Antreiber 3.4, 3.5 und zum Einstellen der Optik 3.6 in Echtzeit empfängt.

Mit Hilfe der drehbaren Spiegel 3.2, 3.3 sowie der Fokussieroptik 3.6 lassen sich auf dem Werkstück 4 in einem bestimmten, durch die maximalen Amplituden der Eigenbewegungen der Spiegel 3.2, 3.3 bzw. der Fokusverschiebung der Optik 3.6 vorgegebenen Bereich, quasi beliebige Bearbeitungsgeometrien B im Raum abfahren. Die drei Freiheitsgrade der Werkzeugbewegung, im Ausführungsbeispiel in der Fig. 2 der Bewegung des Laserstrahls 5 auf dem Werkstück 4, sind in Fig. 2 mit F_7 bis F_9 bezeichnet. Auf dem Werkstück 4 entsprechen diesen Freiheitsgraden F_7 - F_9 in der gewählten Darstellung gemäß Fig. 2 kartesische Verschiebungen in X-, Y- und Z-Richtung, wie im unteren Teil der Fig. 2 in gegenüber dem Rest der Fig. 2 gekippter Darstellung gezeigt ist. Dabei entspricht insbesondere die Z-Richtung dem Fokussier-Freiheitsgrad F_9 des Werkzeugs 3.

Ein Einkoppeln E von Laserenergie erfolgt im Bereich einer Einkopplungseinheit 3.8, die alternativ zu der in Fig. 2 gezeigten Ausführung auch außerhalb des Werkzeugs 3 im Bereich der fünften oder sechsten Roboterachse angeordnet sein kann.

Die Fig. 3 zeigt schematisch eine mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens realisierbare einfach zusammenhängende Bearbeitungsgeometrie, d.h. eine Bewegungsbahn B der Werkzeugspitze (TCP) in Form einer kreuzförmigen Kontur, beispielsweise zur Laserschriftung der Oberfläche eines Werkstücks 4. Der Bearbeitungsbahn B überlagert dargestellt ist in Fig. 3 eine Bewegungsbahn B' des Roboters 2 (Fig. 1) bzw. des distalen Endes 2.2 des Roboterarms 2.1, an dem erfindungsgemäß das Werkzeug 3 befestigt sein kann. Die Bewegungsbahn B' des Roboters weist insbesondere in Bereichen 6, 6', in denen sich ein Verlauf der Bearbeitungsbahn B stark ändert, d.h. an Ecken oder Kanten der Bearbeitungsbahn B einen deutlich von der Bearbeitungsgeometrie B abweichenden Verlauf B' auf.

Die Roboterbewegung B' verläuft während der gesamten Bearbeitung innerhalb eines Raumbereichs B'' ("Bewegungsschlauch"; in Fig. 3 schraffiert dargestellt), der die Bearbeitungsbahn B allseitig umgibt, und dessen Abweichung ΔB von der Bearbeitungsbahn B jeweils einer maximalen Bewegungsamplitude des Werkzeugs 3 in einem seiner drei Freiheitsgrade F_7 - F_9 entspricht (vergleiche Fig. 2).

Die Punkte P längs der Bearbeitungsbahn B, von denen im oberen Teil der Fig. 3 einige vergrößert dargestellt sind, stellen den Interpolationstakt (IPO-Takt) der Steuereinheit 2.3 der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 dar (Fig. 1). Der IPO-Takt besitzt beim Ausführungsbeispiel der Fig. 3 ein Zeitraster T, beispielsweise mit $T=2$ ms. Die regelmäßige Abfolge von Punkten P längs der Bearbeitungsbahn B gibt an, dass die Bearbeitung des Werkstücks 4 erfindungsgemäß mit konstanter Bearbeitungsgeschwindigkeit stattfindet.

det. Bei vorbekannten Bearbeitungsvorrichtungen bzw. -verfahren entspricht die Bewegungsbahn B' des Handhabungsgeräts 2 im wesentlichen der vorgegebenen Bearbeitungsbahn B. Dies führt insbesondere in Bereichen 6, 6', in denen die

5 Bearbeitungsbahn B abrupt die Richtung wechselt, dazu, dass aufgrund der erforderlichen Umpositionierung der relativ trägen Achsen des Handhabungsgeräts 2 in diesen Bereichen nur mit abgesenkter Bearbeitungsgeschwindigkeit gearbeitet werden kann. Entsprechend rutschen die Punkte P in einer

10 der Fig. 3 entsprechenden Darstellung in diesen Bereichen 6, 6' enger zusammen. Dadurch wird die Bearbeitungszeit t für ein gegebenes Werkstück 4 deutlich verlängert.

Erfindungsgemäß wird insbesondere dieser Nachteil dadurch

15 vermieden, dass aufgrund der kombinierten Echtzeit-Bewegungssteuerung von Handhabungsgerät 2 und Werkzeug 3 der negative Trägheitseffekt der Roboterachsen dadurch ausgeglichen wird, dass diese in ihrer Bewegung B' in bestimmten Bereichen 6, 6' einer vorgegebenen Bearbeitungsbahn B

20 voraus- bzw. nacheilen und dabei ggf. von dieser abweichen, während das Abfahren der Bearbeitungsbahn B in diesen Bereichen 6, 6' durch Eigenbewegungen des Werkzeugs 3 sichergestellt ist, die regelmäßig mit größerer Geschwindigkeit durchführbar sind. Anschaulich gesprochen kürzt das Handhabungsgerät 2 in schwierigen Bereichen der Bearbeitungskon-

25 tur eine Länge seiner Bahnbewegung B' ab und überlässt das Abfahren der Bearbeitungsbahn B' in diesen Bereichen dem Werkzeug 3 selbst, damit nicht der Bearbeitungsvorgang als ganzer durch die Trägheit des Handhabungsgerät 2 negativ

30 beeinflusst wird.

Die Bearbeitungsbahn B ist in der in Fig. 1 gezeigten Speichereinheit 2.4 der Steuerungseinheit 2.3 der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 in Form von zeitlich um den Wert T

35 beabstandeten Koordinatenwerten gespeichert. Zur Bestimmung

des Bewegungsschlauchs B'' dient die ebenfalls in Fig. 1 gezeigte Bestimmungseinheit 2.5. Zur zeitlich und/oder räumlich optimierten Bewegungssteuerung des Handhabungsgeräts 2 innerhalb des Bewegungsschlauchs B'' dienen die ebenfalls in Fig. 1 gezeigten Prozessormittel 2.7, die mit den Bestimmungsmitteln 2.6 zusammenwirken, mittels derer durch dynamisches Bestimmen einer relativen Pose (Ort und Ausrichtung) zwischen der Werkzeugspitze der erfindungsgemäßen Vorrichtung und einer Summe aus den Koordinatenwerten der Bearbeitungsbahn B und den zugehörigen Abweichungen ΔB sichergestellt ist, dass die Bearbeitungsbahn B trotz dynamischer Anpassung der Roboterbewegung B' und/oder der Eigenbewegungen X, Y, Z des Werkzeugs 3 jederzeit eingehalten wird.

Zu diesem Zweck übermittelt die Steuerungseinheit 2.3 (Fig. 1) nach erfolgter Optimierung der Bewegungsbahn B' angepasste Steuersignale an die Steuerungseinheit 3.7 des Werkzeugs 3. So können die Eigenbewegung X, Y, Z des Werkzeugs 3 die Bewegungsbahn B' zur Bearbeitungsbahn B "ergänzen".

Die Fig. 4 zeigt eine weitere mögliche Bewegungsbahn B' des Handhabungsgeräts 2 zum Abfahren der vorgegebenen, kreuzförmigen Bearbeitungsbahn B der Fig. 3. Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 4 wird ausschließlich der innerhalb der Kontur der Bearbeitungsbahn B liegende Bereich des Bewegungsschlauchs B'' ausgenutzt. Eine derartige Bewegungsführung des Handhabungsgeräts 2 ist insbesondere dann von Vorteil, wenn weitläufigere Roboterbewegungen B' aufgrund äußerer Hindernisse nicht realisierbar sind oder in anderer Weise eine besonders bauteiloptimierte Bewegungsbahn B' erforderlich oder angestrebt ist.

Die Fig. 5 zeigt schematisch den Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. einer erfindungsgemäßen Vorrichtung bei einer Werkstückbearbeitung, bei der die Werkzeugspitze keine einfach zusammenhängende Bahn auf dem Werkstück abfährt; vielmehr ergibt sich die Bearbeitungsgeometrie J der Fig. 5 als Abfolge stückweise zusammenhängender Geometrieteilstücke B_J , B_J' im Rahmen einer sogenannten Sprungfunktion. Zwischen den zusammenhängenden Teilstücken B_J führt die Werkzeugspitze eine Sprungbewegung J' durch, die mit 100 bis 1000-fach höherer Geschwindigkeit als die Bearbeitungsbewegung während der Bewegung auf den Teilstücken B_J , B_J' erfolgt, so dass keine Prozesszeit verloren geht. Bei Sprungfunktionen können beliebige Bearbeitungsgeometrien (auch in drei Dimensionen) mit einer Roboterbewegung aus der zuletzt abgearbeiteten Bahnfunktion (Bearbeitungsmodus mit einfach zusammenhängender Bahn) angesprungen werden. Da die Sprünge eine geringe zeitliche Dauer besitzen (wenige μ s), ist es möglich, die Laserleistung während der Sprünge nicht vollständig wegzuschalten, sondern lediglich durch sogenannte Rampen herunterzusetzen. Da die Sprünge mit höherer Geschwindigkeit erfolgen als die Bearbeitungsbewegungen (s.o.), sind dann auf den Werkstücken keine Laserspuren zu sehen. Die Geometrien können sich von Sprung zu Sprung unterscheiden, so dass auch Schriften oder Graphiken erzeugt werden können. Ein weiteres Beispiel für die Anwendung von Sprungfunktionen ist eine Abfolge isolierter, d.h. räumlich voneinander getrennter Schweißpunkte.

Die Fig. 6 zeigt anhand eines Ablaufdiagramms den Ablauf eines erfindungsgemäßen Bearbeitungsverfahrens mittels eines mit einem Laser-Bearbeitungswerkzeug 3 ausgestatteten Industrieroboters 2. Das in Fig. 6 dargestellte Steuerungsverfahren läuft erfindungsgemäß in der Steuerungseinheit 2.3 des in Fig. 1 dargestellten Handhabungsgeräts 2 ab.

Ausgangspunkt des Verfahrens ist in Schritt S1 eine Ermittlung des Robotertyps (Achsenzahl) ggf. des zur Bewegungssteuerung eingesetzten Koordinatensystems (z.B. kartesisch). Anschließend erfolgt in Schritt S2 die Abfrage, ob
 5 das eingesetzte Laser-Bearbeitungswerkzeug 3 drei unabhängige Freiheitsgrade der Bewegung, hier speziell zwei Spiegelachsen F_7 , F_8 und eine Fokusachse F_9 , aufweist. Wird die Abfrage S2 verneint (n), so erfolgt die Bewegung der Werkzeugachsen nach dem Stand der Technik wahlweise synchron
 10 oder asynchron zur Roboterbewegung S3. Anderenfalls erfolgt in Schritt S4 die Abfrage, ob eine synchrone Werkzeugsteuerung (Spiegel-Fokus-Steuerung) durch die Steuerungseinheit 2.3 des Roboters 2 übernommen werden soll. In diesem Fall erfolgt in Schritt S5 die Abfrage, ob zwischen Roboter und
 15 Werkzeug eine Bewegungskoordination stattfinden soll.

Unter einer synchronen Werkzeugsteuerung gemäß Schritt S4 ist eine übergeordnete Bahnplanung zu verstehen, die dem Roboter und den Spiegeln synchron die anzufahrenden Positionen mitteilt. Dies geschieht beispielsweise im IPO-Takt durch einen externen Rechner in Schritt S6 (s.u.), der den Takt für beide Bewegungssteuerungen (Roboter und Werkzeug) synchron angibt.

25 Bei der Bewegungskoordination gemäß Schritt S5 setzt sich das Positionssystem der Spiegelsteuerung auf das dreidimensionale Tooldatensystem (TCP-Koordination) des Roboters auf.

30 Wird eine der beiden Abfragen S4, S5 verneint, so erfolgt in Schritt S6 eine Koordination und Bewegungsführung der Achsen durch eine externe Steuerungseinheit (nicht dargestellt).

Werden beide Abfragen S4, S5 bejaht, so erfolgt in Schritt S7 eine weitere Abfrage dahingehend, ob die vorgegebene Bearbeitungsbahn B identisch einer Einwirkungsbahn, hier einer Laserbahn, ist. Bei Bahnfunktionen, d.h. Bearbeitungsmodi mit zusammenhängender Bearbeitungsgeometrie, liegt die Bearbeitungsbahn in der Regel außerhalb der Roboterbahn, um Geschwindigkeitsvorteile der Spiegel zu nutzen. Es ist jedoch auch ein Bearbeitungsmodus möglich, bei dem sich die Bearbeitungsgeometrie quasi auf der Roboterbahn befindet und nur Ecken oder enge Radien der Kontur in einem "Überschleifmodus" der TCP-Bewegung bearbeitet werden. Dabei fährt der Roboter längs einer Bewegungsbahn, die z.B. Ecken der Bearbeitungskontur "abschneidet", ähnlich wie in Fig. 3 bei Bezugszeichen 6 dargestellt, wobei die Roboterbahn auch eine bogenförmige im Raum ("Überschleifkugel") sein kann. Die Spiegel fahren als Bearbeitungsbahn den vorgesehenen (geteachten) Umkehrpunkt, d.h. den Eckpunkt an. Dabei kann sich, was die Bearbeitungskontur anbelangt, eine Ecke in diesem Punkt ergeben, die abhängig von den zuvor und danach gegebenen Punkten frei im (dreidimensionalen) Raum liegt. Wird die Abfrage S7 verneint, so ist es in Schritt S8 möglich, im Rahmen sogenannter Sprungfunktionen einzelne definierte Abweichungen von einer Bearbeitungsbahn zuzulassen (Fig. 5). In diesem Fall beginnt mit Schritt S9 direkt anschließend die koordinierte Bewegung von Werkzeug (Scanner) 3 und Handhabungsgerät 2.

Für den Fall, dass in Schritt S7 eine Identität von Bearbeitungsbahnen B und Laserbahn bejaht wurde, schließen sich an Schritt S7 anstelle des vorstehend beschriebenen Schrittes S8 nacheinander die folgenden Verfahrensschritte S8.1 bis S8.4 an: Zunächst werden in Schritt S8.1 die Bearbeitungsbahn B (und die Laserbahn) in diskrete Punktfolgen von Koordinatenwerten auf der Grundlage eines Zeitrasters nach Maßgabe durch die erreichbaren IPO-Takte des Handhabungsge-

räts 2 bzw. dessen Steuerungseinheit 2.3 zerlegt. Das heißt konkret, dass die Koordinatenwerte von jeweils in einem zeitlichen Abstand T (Fig. 3) nacheinander einzunehmenden Positionen bestimmt und in einer Speichereinheit 2.4 der Steuerungseinheit 2.3 abgelegt werden, beispielsweise in Form einer Datenbank. Anschließend wird in Schritt S8.2 für jeden IPO-Takt eine Bahndifferenz zwischen der vorgegebenen Bearbeitungsbahn B und einer geteachten Roboterbahn bestimmt, deren Koordinatenwerte ebenfalls in der Speichereinheit 2.4 der Steuerungseinheit 2.3 gespeichert sein können. In Schritt S8.3 wird für die vorgegebenen Bearbeitungsbahn B in der Bestimmungseinheit 2.5 (Fig. 1) der vorstehend anhand der Fig. 3 beschriebene Bewegungsschlauch B'' berechnet.

15

Die Bahndifferenzen werden anschließend in Schritt S8.4 durch die Bestimmungsmittel 2.6 mit den maximal zulässigen Abweichungen ΔB von der Bearbeitungsbahn B verglichen, woraufhin die geteachte Bahnbewegung des Handhabungsgeräts und davon abhängig die Eigenbewegungen des Werkzeugs, d.h. die Spiegelstellungen und der Laserfokus ggf. derart angepasst werden, dass die Bewegungsbahn B' des Roboters innerhalb des in Fig. 3 definierten Bewegungsschlauches B'' liegt.

25

In Schritt S8.4 sorgt weiterhin eine Minimierungsautomatik für die IPO-Punkte P (Fig. 3, 4) dafür, dass in Abschnitten der Bewegungsbahn B , in denen sich eine Bearbeitungsgeschwindigkeit bzw. eine Richtung der Bearbeitungsbahn B nicht oder nur unwesentlich verändert, mit einer möglichst geringen Anzahl von IPO-Punkten (Koordinatenwerten) und entsprechend längeren IPO-Takten gearbeitet wird. Es ist auf diese Weise möglich, in derartigen Bereichen das Handhabungsgerät 2 mit extrapolierten Koordinatenwerten schneller zu bewegen.

30

Die Technik der Minimierungsautomatik bezieht sich auf die Reduzierung der IPO-Punkte auf der Roboterbahn. Beispielsweise benötigt man für eine geradlinige Bewegung des TCP nur zwei Stützpunkte. Bei engen Kurven mit hoher Geschwindigkeit sind z.B. bei hoher geforderter Genauigkeit eine Vielzahl von Bahnstützpunkten im IPO-Takt erforderlich. Wird die Bahnbeschwindigkeit oder die zu erreichende Bahngenauigkeit gesenkt, so reichen eventuell weniger Bahnstützpunkte auf der Roboterbahn aus. Die Minimierungsautomatik richtet sich nach der gewünschten Genauigkeit des Systems und wählt offline die maximal notwendigen Bahnstützpunkte auf der Roboterbahn aus. Die Spiegel selbst werden jedoch in einem Vielfachen des IPO-Taktes angefahren.

An Schritt S8.4 anschließend erfolgt in Schritt S8.5 eine Abfrage, ob zusätzliche Bearbeitungsgeometrien abseits der eigentlichen Bearbeitungsbahn B angefahren werden sollen. Darunter ist folgendes zu verstehen: Fährt eine erfindungsgemäße Vorrichtung Bahnfunktionen, wie längere Nähte (auch abseits der Roboterbahn), so kann als nächster Bearbeitungsmodus auch eine Sprungfunktion folgen, danach wieder eine längere Naht (also eine Bahn) usw. Türecken werden beispielsweise als Naht geschweißt; danach folgen fünf klammerartige Kanten, die Schweißpunkte ersetzen. Auf dieser Weise können Bahnfunktionen und verschiedene Geometrien gemischt werden, z.B. Linien, Kreise, Klammern, Buchstaben, ASCII-Zeichen und die daraus erzeugbaren zwei- und dreidimensionalen Geometrien. Wird dies Abfrage bejaht, so werden die bereits vorstehend erläuterten Schritte S8 und S9 ausgeführt, anderenfalls beginnt direkt an S8.4 bzw. S8.5 anschließend die koordinierte Bewegung von Werkzeug 3 und Roboter 2 in Schritt S9.

PATENTANWÄLTE

DIPL.-ING. **HEINER LICHTI**DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. **JOST LEMPERT**DIPL.-ING. **HARTMUT LASCH**D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)
POSTFACH 410760

TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

19765.9 Le/nu/ma
25. November 2002**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Bearbeiten von Werkstücken mittels eines mehrachsigen Handhabungsgeräts, wie eines Industrieroboters, mit einem nach Maßgabe durch eine Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts bewegten Werkzeug, das
5 Eigenbewegungen mit mehreren Freiheitsgraden ausführen kann, dadurch gekennzeichnet, dass die Freiheitsgrade des Werkzeugs gemeinsam mit Freiheitsgraden von Achsen des Handhabungsgeräts in Echtzeit zum Bewegen einer Werkzeugspitze (TCP) gemäß einer vorbestimmten Bearbeitungsgeometrie und zur Bestimmung einer Bewegung des Handhabungsgeräts ausgewertet werden.
10
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
15 die Werkzeugspitze (TCP) zumindest zeitweise entlang einer einfach zusammenhängenden Bearbeitungsgeometrie (Bearbeitungsbahn) bewegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
20 dass die Werkzeugspitze zumindest zeitweise ent-

lang einer stückweise zusammenhängenden Bearbeitungsgeometrie bewegt wird (Sprungfunktion).

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertung durch die Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts vorgenommen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass für eine Bewegungssteuerung der Werkzeugspitze zumindest Koordinaten der Bearbeitungsgeometrie in eine Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts eingelesen werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungsgeometrie zu einer Abfolge von diskreten Koordinatenwerten mit einem gleichen zeitlichen Abstand (Taktzeit) zwischen aufeinanderfolgenden Werten diskretisiert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Koordinatenwerte der Bearbeitungsgeometrie vor der Bearbeitung in einer mit der Steuerungseinheit assoziierten Speichereinheit gespeichert werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass den Koordinaten der Bearbeitungsgeometrie Korrekturwerte zugeordnet werden, die maximalen Amplituden der Eigenbewegungen des Werkzeugs in dessen Freiheitsgraden entsprechen.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Bewegungsbahn des Handhabungsgeräts durch die Steuerungseinheit dynamisch dadurch bestimmt wird, dass eine momentane Koordinatendifferenz zwischen der Bearbeitungsgeometrie und einer Position und Orientierung

(Pose) der Werkzeugspitze nicht größer als die Amplitude der entsprechenden Eigenbewegungen des Werkzeugs ist.

5 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungsbahn des Handhabungsgeräts möglichst kurz und/oder bauteilgerecht angepasst wird.

10 11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Koordinaten der Bewegungsbahn des Handhabungsgeräts und davon abhängig eine Pose des Werkzeugs zu den Takten der Koordinatenwerte der Bearbeitungsgeometrie bestimmt werden.

15

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungen des Handhabungsgeräts und des Werkzeugs zwischen den Takten durch Interpolation bestimmt werden.

20

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Taktzeit zumindest zeitweise an wenigstens einen Parameter der Bewegungen angepasst wird.

25

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung der Werkzeugspitze mit im wesentlichen konstanter Geschwindigkeit erfolgt.

30 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine vorbestimmte Bewegungsbahn des Handhabungsgeräts vor der Bearbeitung in der mit der Steuerungseinheit assoziierten Speichereinheit gespeichert wird.

35

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück während der Bearbeitung durch das Handhabungsgerät bewegt wird.
- 5 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug während der Bearbeitung durch das Handhabungsgerät bewegt wird.
- 10 18. Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken, aufweisend ein mehrachsiges Handhabungsgerät mit einer Steuerungseinheit zur Bewegungssteuerung und ein Werkzeug, das zum Ausführen von Eigenbewegungen eine Mehrzahl von Freiheitsgraden aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (3) und eine Werkzeugspitze (TCP) bei der Bearbeitung eines Werkstücks (4) in ihren Bewegungen (X, Y, Z) durch die Steuerungseinheit (2.3) des Handhabungsgeräts (2) steuerbar sind.
- 15 19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (4) während der Bearbeitung mit dem Handhabungsgerät (2) verbunden und durch dieses bewegbar ist.
- 20 20. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (3) während der Bearbeitung mit dem Handhabungsgerät (2) verbunden und durch dieses bewegbar ist.
- 25 21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 20, gekennzeichnet durch eine mit der Steuerungseinheit (2.3) des Handhabungsgeräts (2) assoziierte Speichereinheit (2.4) zum Speichern zumindest einer diskretisierten Abfolge von Koordinatenwerten für eine Bearbeitungsgeometrie (B) des Werkstücks (4).
- 30 35

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, gekennzeichnet durch eine Bestimmungseinheit (2.5) zum Bestimmen von Amplituden der Eigenbewegungen (X, Y, Z) des Werkzeugs (3) entsprechenden Abweichungen (ΔB) für die Koordinatenwerte der Bearbeitungsgeometrie (B).
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, gekennzeichnet durch Bestimmungsmittel (2.6) zum dynamischen Bestimmen einer relativen Pose zwischen Werkzeugspitze (TCP) und einer Summe aus den Koordinatenwerten der Bearbeitungsgeometrie (B) und den zugehörigen Abweichungen (ΔB), wobei in den Bestimmungsmitteln (2.6) erzeugte Signale zwecks koordinierter Bewegungssteuerung an das Handhabungsgerät (2) und das Werkzeug (3) weiterleitbar sind.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 23, gekennzeichnet durch programmtechnisch eingerichtete Prozessormittel (2.7) zum zeitlichen und/oder räumlichen Optimieren einer momentanen Bewegung (B') des Handhabungsgeräts (2) unter Ausnutzung der Freiheitsgerade (X, Y, Z) des Werkzeugs (3).

PATENTANWÄLTE

DIPL.-ING. **HEINER LICHTI**DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. **JOST LEMPERT**DIPL.-ING. **HARTMUT LASCH**D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)
POSTFACH 410760

TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

19765.9 Le/nu/ma
25. November 2002

Zusammenfassung

Ein Verfahren zum Bearbeiten von Werkstücken mittels eines mehrachsigen Handhabungsgeräts, wie eines Industrieroboters, mit einem nach Maßgabe durch eine Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts bewegten Werkzeug, das Eigenbewegungen mit mehreren Freiheitsgraden ausführen kann, zeichnet sich dadurch aus, dass die Freiheitsgrade des Werkzeugs gemeinsam mit Freiheitsgraden von Achsen des Handhabungsgeräts in Echtzeit zum Bewegen einer Werkzeugspitze (TCP) gemäß einer vorbestimmten zusammenhängenden Bearbeitungsbahn oder einer stückweise zusammenhängenden Bearbeitungsgeometrie (Sprungfunktion) und zur Bestimmung einer Bewegung des Handhabungsgeräts ausgewertet werden. Weiterhin schlägt die Erfindung eine zum Durchführen des vorstehend genannten Verfahrens geeignete Vorrichtung vor, bei der das Werkzeug und eine Werkzeugspitze bei der Bearbeitung des Werkstücks in ihren Bewegungen durch die Steuerungseinheit des Handhabungsgeräts steuerbar sind. Auf diese Weise lässt sich eine Gesamtbearbeitungszeit drastisch senken.

PATENTANWÄLTE

DIPL.-ING. **HEINER LICHTI**DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. **JOST LEMPERT**DIPL.-ING. **HARTMUT LASCH**

D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)

POSTFACH 410760

TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

19765.9 Le/nu/ma
25. November 2002**Bezugszeichenliste**

	1	Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken
	2	Handhabungsgerät/Roboter
	2.1	Roboterarm
5	2.2	distales Ende (von 2.1)
	2.3	Steuerungseinheit
	2.4	Speichereinheit
	2.5	Bestimmungseinheit
	2.6	Bestimmungsmittel
10	2.7	Prozessormittel
	2.8	Übertragungsmedium
	3	Werkzeug/Laser-Bearbeitungswerkzeug
	3.1	Scannersystem
	3.2, 3.3	Ablenkspiegel
15	3.4, 3.5	Antrieb
	3.6	Fokussieroptik
	3.7	Steuerungseinheit
	3.8	Einkopplungselement
	4	Werkstück
20	5	Laserstrahl

	6, 6'	Abschnitt (von B)
	B	Bearbeitungsbahn
	B'	Bewegungsbahn
	B''	Bewegungsschlauch
5	ΔB	Abweichung
	B_J, B_J'	zusammenhängende Teilstücke
	E	Einkopplung (des Laserstrahls 5)
	F_1-F_9	Freiheitsgrad
	J	Bearbeitungsgeometrie (Sprungfunktion)
10	P	IPO-Punkt
	S1-S9	Verfahrensschritte
	t	Bearbeitungszeit
	T	IPO-Taktzeit
	X, Y, Z	kartesische Koordinate
15		

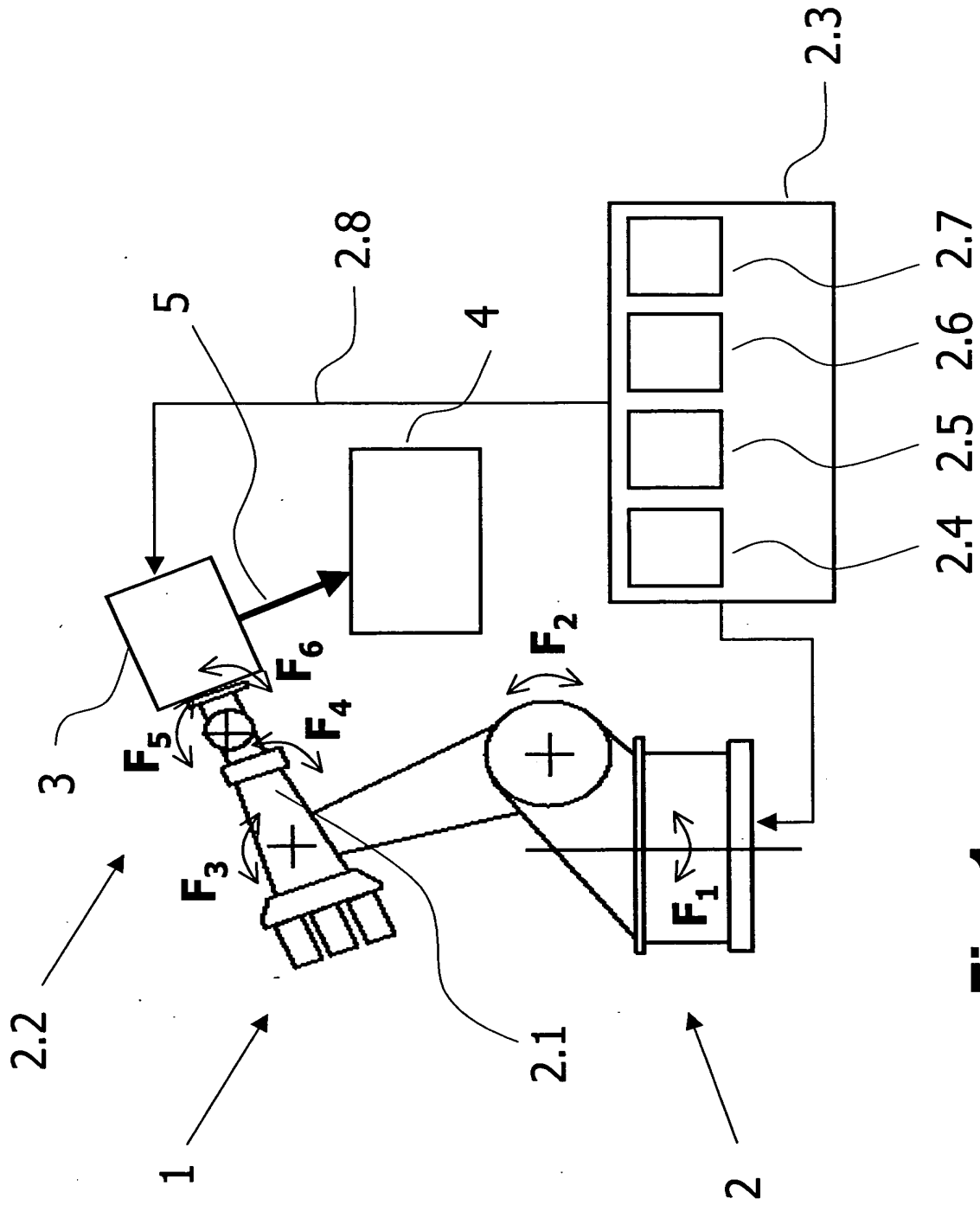


Fig. 1

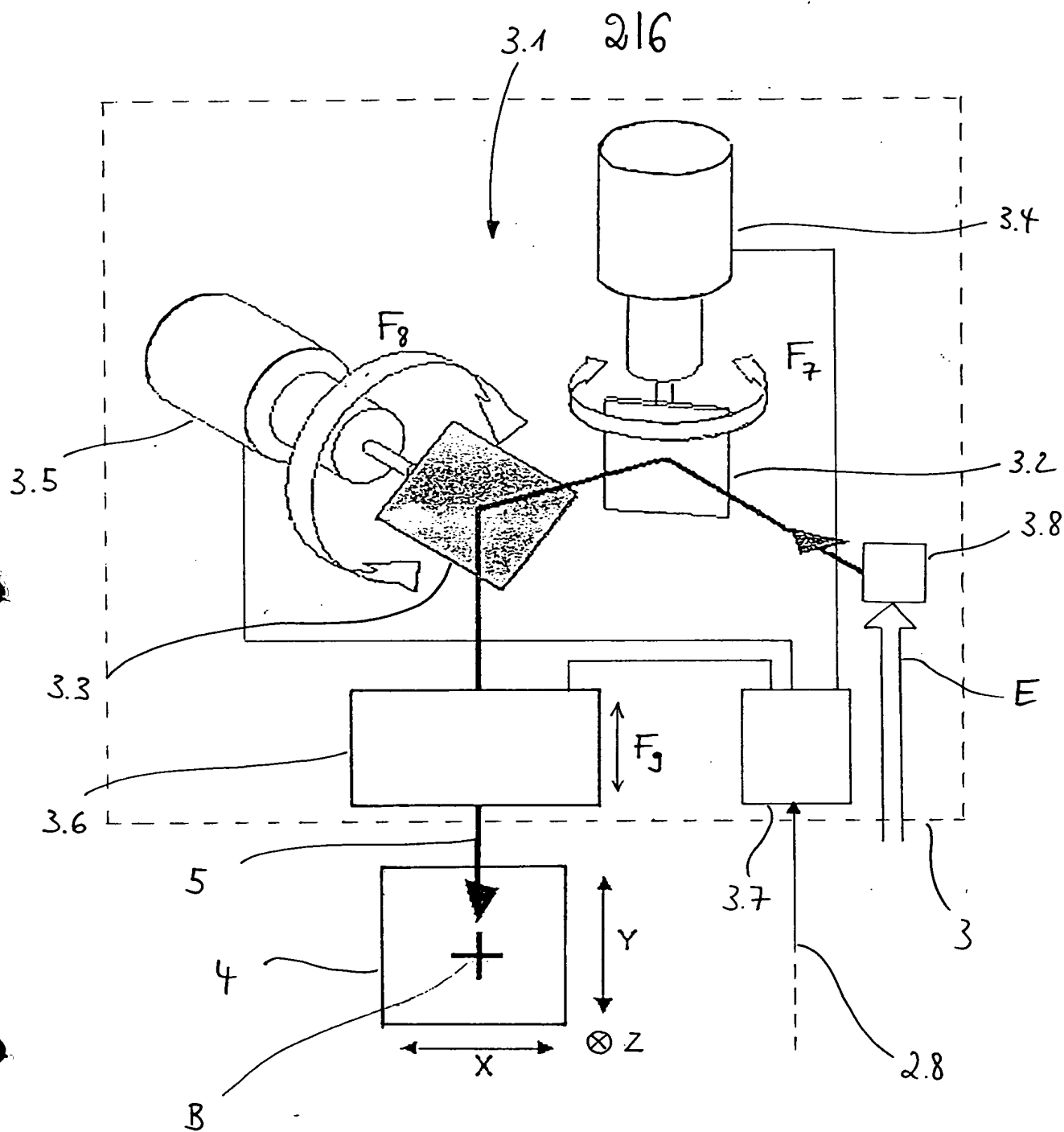


Fig. 2

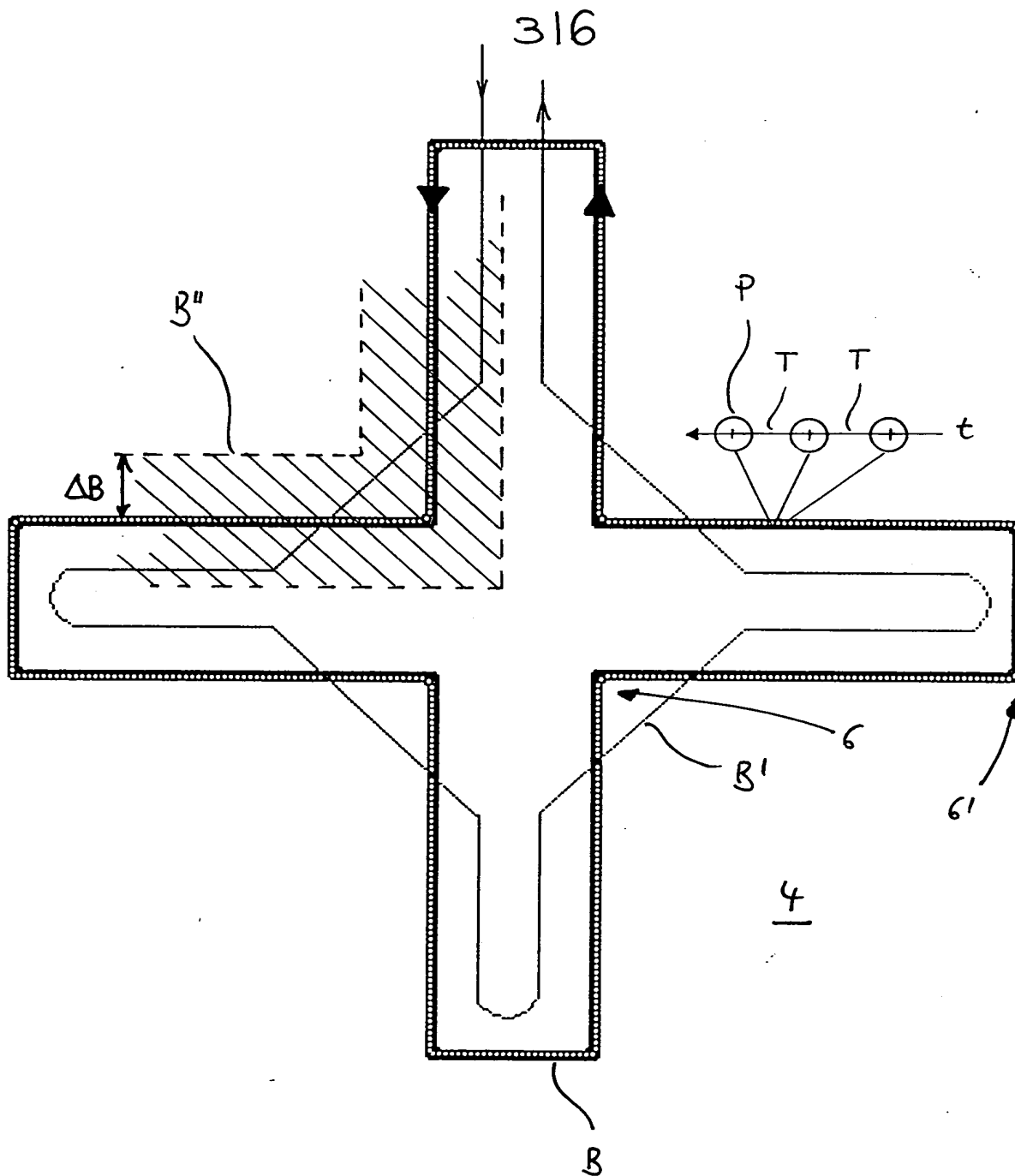


Fig. 3

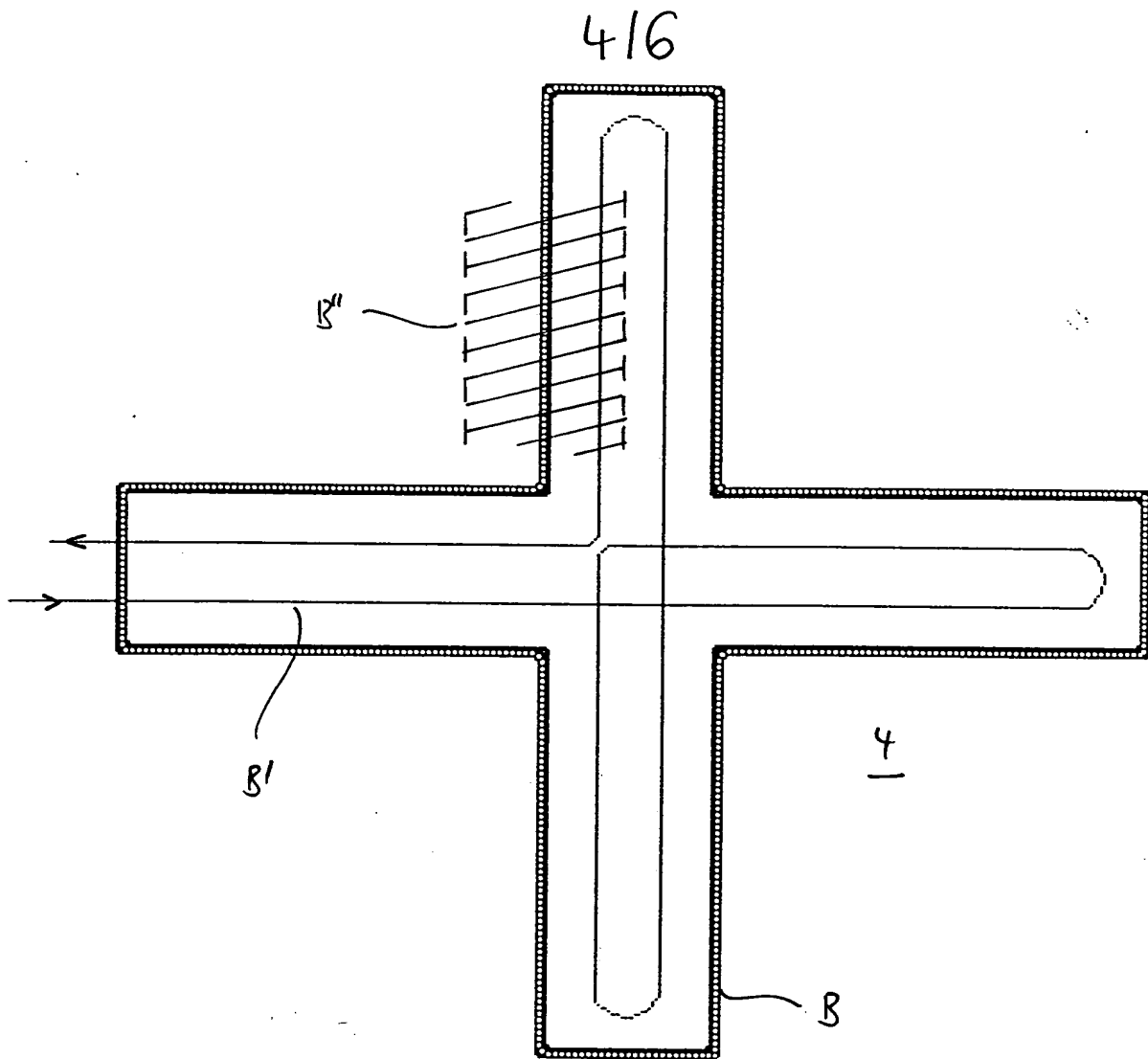


Fig. 4

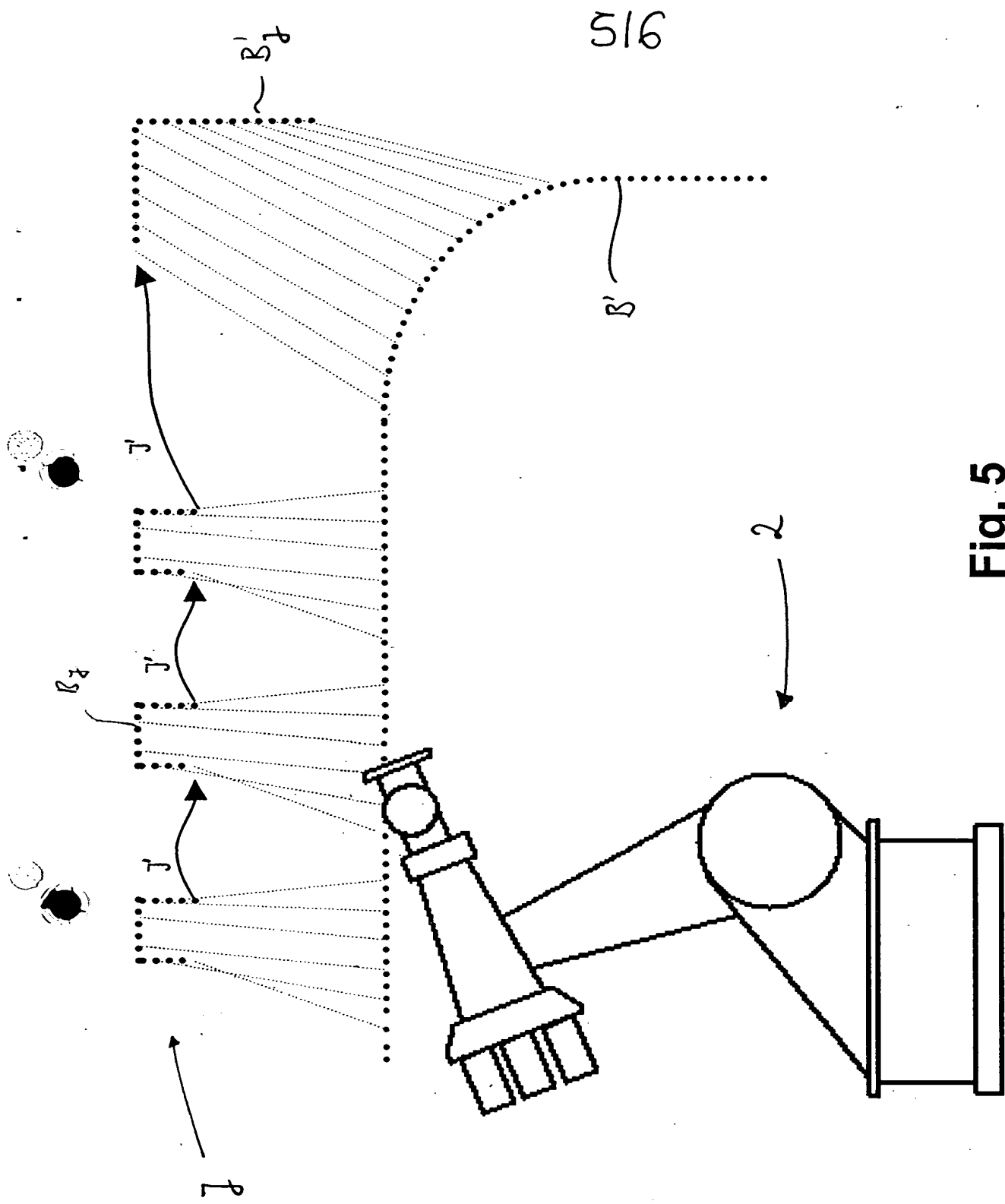
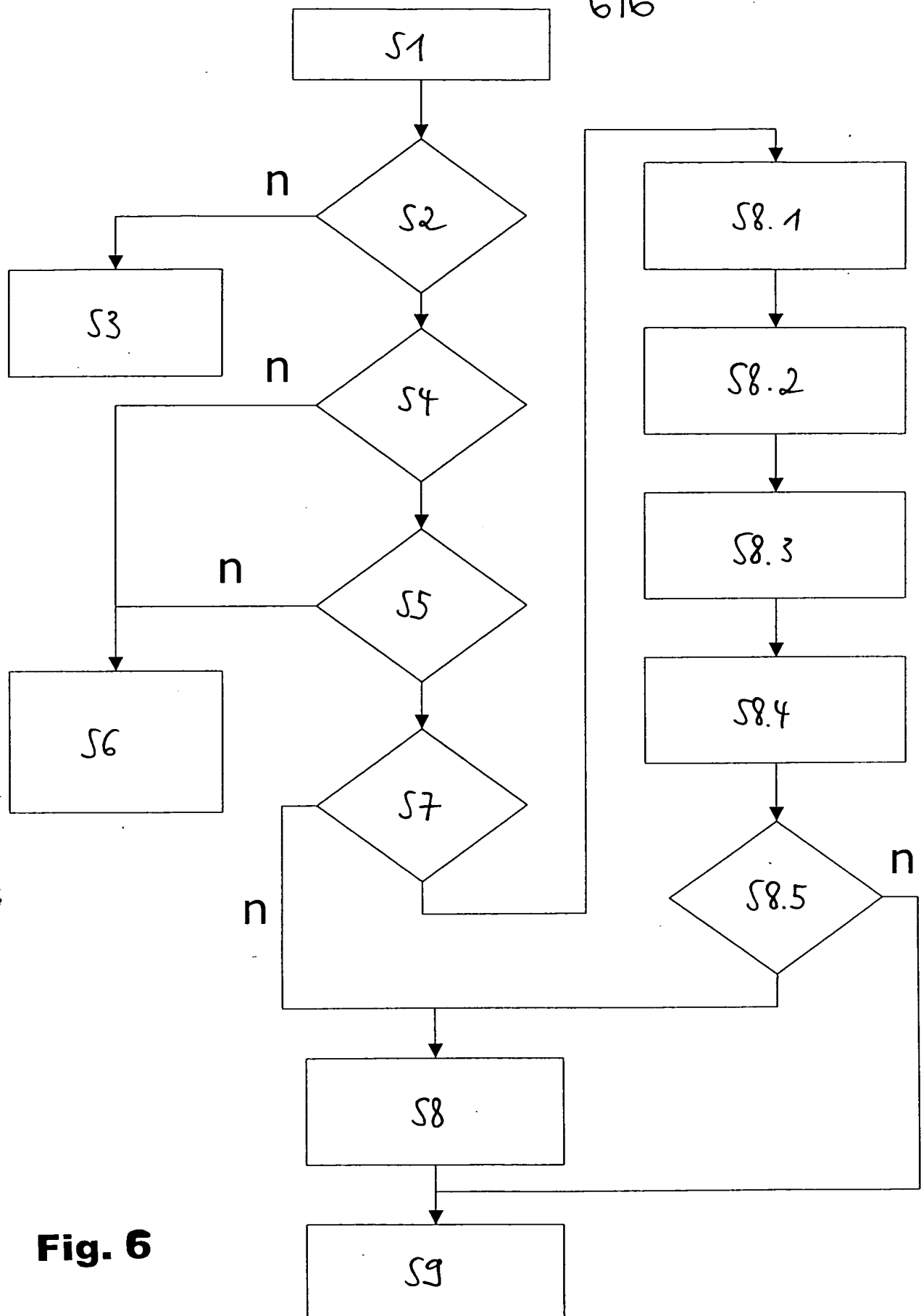


Fig. 5

**Fig. 6**